

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
6. Juni 2002 (06.06.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/45312 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: H04J 14/02,
13/00

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): MIRCESCU, Alexan-
der [DE/DE]; Boschetsrieder Str. 61, 81379 München
(DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/04289

(22) Internationales Anmeldedatum:
15. November 2001 (15.11.2001)

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE-
SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München
(DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(81) Bestimmungsstaaten (national): CA, US.

(30) Angaben zur Priorität:
100 59 559.6 30. November 2000 (30.11.2000) DE

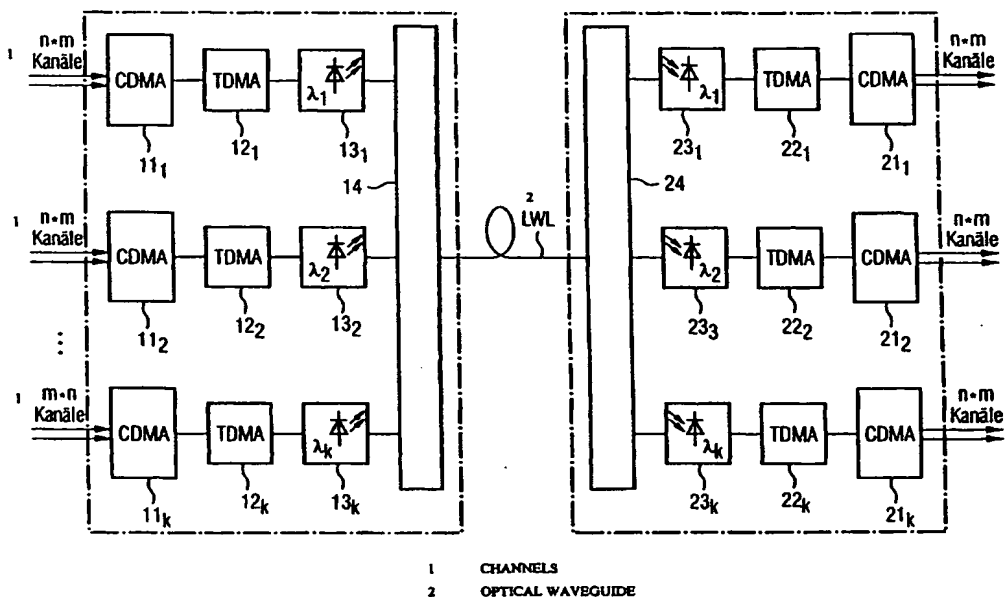
(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,
BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,
NL, PT, SE, TR).

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR TRANSMITTING DATA VIA OPTICAL WAVEGUIDES

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR DATENÜBERTRAGUNG ÜBER LICHTWELLENLEITER



(57) Abstract: The invention relates to a method for transmitting data via optical waveguides that is characterized by combining the methods frequency (or wavelength) division multiplexing, multiplexing, time division multiplexing and code division multiplexing for transmitting data. The invention further relates to an optical transmitter, an optical receiver, an optical multiplexer (1) and an optical demultiplexer (2) for carrying out said method.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 02/45312 A2



Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten CA, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR)
- Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US

Veröffentlicht:

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Übertragen von Daten über Lichtwellenleiter (LWL), wobei zur Übertragung der Daten die Verfahren Frequenz- (bzw. Wellen-längen-) Multiplex-, Zeit- und Codemultiplexverfahren zur Datenübertragung miteinander kombiniert werden. Weiterhin betrifft die vorliegende Erfindung eine optische Sendevorrichtung, eine optische Empfangsvorrichtung, einen optischen Multiplexer (1) und einen optischen Demultiplexer (2) zur Durchführung dieses Verfahrens.

Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zur Datenübertragung über Lichtwellenleiter

5

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Datenübertragung über Lichtwellenleiter, eine optische Sendevorrichtung zum Versenden von Daten über Lichtwellenleiter und eine optische Empfangsvorrichtung zum Empfangen von Daten über Lichtwellenleiter.

10

Lichtwellenleiter (Glasfasern) eignen sich besonders gut für die Übertragung von großen Datenmengen mit einer hohen Datenübertragungsrate über große Entfernungen. Die mögliche Datenübertragungsrate ist dabei von der Übertragungsbandbreite des Übertragungsmediums (Lichtwellenleiter) abhängig. Der nutzbare Wellenlängenbereich für optische Datenübertragung über Glasfaser liegt zwischen 1,3 bis 1,6 μm des optischen Trägers. Aus diesem Bereich ergibt sich eine theoretische Übertragungsbandbreite von 50 THz. Bisher ist es jedoch technisch nicht möglich, diese theoretische Bandbreite vollständig auszunutzen.

15

20

Zur Ausnutzung der Übertragungsbandbreite von Lichtwellenleitern stehen beim Stand der Technik zwei Übertragungsverfahren zur Verfügung:

25

Zum einen erfolgt die Datenübertragung im sogenannten Zeitmultiplexverfahren (TDMA, Time Division Multiple Access). Dabei wird die Zeitachse fortlaufend in Abschnitte (sog. Rahmen) mit einer bestimmten Zeitdauer T, die sogenannte Rahmendauer, unterteilt. Jeder dieser Rahmen besteht aus einer bestimmten Anzahl von Zeitschlitzten (Timeslots) $t_1 \dots t_n$, wobei jeder Rahmen die gleiche Anzahl von Zeitschlitzten aufweist und die Zeitschlitzte überlappungsfrei angeordnet sind. Die Zeitschlitzte in einem Rahmen werden von 1 bis n durchnu-

30

35

meriert; dieselben Zeitschlitzte in den aufeinanderfolgenden Rahmen bilden dabei einen Kanal zur Datenübertragung.

- Das zweite Übertragungsverfahren zur Datenübertragung über Lichtwellenleiter stellt das sogenannte Frequenzmultiplex-
verfahren (FDMA, Frequency Division Multiple Access), in der optischen Nachrichtentechnik auch als Wellenlängenmultiplex (WDM, Wavelength Division Multiplex) bezeichnet, dar.
- 10 Beim Frequenzmultiplexverfahren belegt jeder Kanal ein bestimmtes schmales Frequenzband in einem verfügbaren Frequenzraum. Dabei werden die einzelnen Kanäle zur Datenübertragung durch verschiedene Trägerfrequenzen in unterschiedlichen Frequenzbereichen übertragen. In der optischen Nachrichtenübertragung bedeutet das, daß verschiedene Kanäle mit unterschiedlichen Wellenlängen des Lichts übertragen werden.

- Die Begriffe "Frequenz bzw. Frequenzmultiplex" und "Wellenlänge bzw. Wellenlängenmultiplex" können äquivalent benutzt werden, da die Frequenz und die Wellenlänge umgekehrt proportional zueinander sind. In der optischen Übertragungstechnik wird in der Regel die Wellenlänge des Lichtes, mit der die Daten übertragen werden, angegeben. Jedoch eignet sich zur Darstellung eines (Frequenz-) Spektrums bzw. dessen Verbreiterung und Übertragungsbandbreite die Frequenz besser.

- Theoretisch ist es möglich, durch ein eindimensionales Zugriffsverfahren, d.h. durch die Verwendung von nur einem Multiplexverfahren zur Datenübertragung über einen Lichtwellenleiter, die gesamte theoretische Übertragungsbandbreite von 50 THz auszunutzen. Jedoch stellt diese Ausnutzung hohe Anforderungen an die technische Realisierung der verwendeten Bauteile:

- 35 Beim Wellenlängenmultiplex werden sehr feinstufig durchstimmbare Laserdioden zum Senden und entsprechende Photodioden zum

Empfangen der jeweiligen Signale der bestimmten Wellenlänge benötigt.

5 Beim Zeitmultiplexverfahren müssen zur Erhöhung der spektra-
len Ausnutzung der Übertragungsbandbreite die zu übertragen-
den Daten bzw. Datenpakete zeitlich reduziert werden, so dass
mit steigender spektraler Ausnutzung höhere Zeitanforderungen
an die signalauswertenden Bauteile gestellt werden, da die
10 Dauer der Zeitschlitzte nicht beliebig kurz gemacht werden
kann.

Durch diese Grenzen der technischen Realisierung ist es bis-
her nicht möglich, die komplette Übertragungsbandbreite von
Lichtwellenleitern voll auszunutzen.

15 Um die zur Verfügung stehende Übertragungsbandbreite besser
ausnutzen zu können, werden beim Stand der Technik die beiden
beschriebenen Multiplexverfahren miteinander kombiniert.

20 In der optischen Nachrichtentechnik erfolgte die Datenüber-
tragung lange Zeit im Zeitmultiplexverfahren und wird derzeit
um das Wellenlängenmultiplexverfahren ergänzt. Konkret bedeu-
tet das, daß auf verschiedenen Wellenlängen jeweils mehrere
Kanäle zur Datenübertragung im Zeitmultiplexverfahren über
25 einen gemeinsamen Lichtwellenleiter übertragen werden. Die
spektrale Effizienz, d.h. die Ausnutzung der zur Verfügung
stehenden Übertragungsbandbreite, wird dadurch zwar verbes-
sert, jedoch noch nicht vollständig erreicht.

30 Mit dem gleichen Verfahren konnte auch in der mobilen, funk-
technischen Kommunikation die spektrale Ausnutzung erhöht
werden; dies wurde im GSM-System (Global System for Mobile
Telecommunication) der mobilen Telefone realisiert.

35 Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist somit, ein Ver-
fahren und eine Vorrichtung bereitzustellen, mit denen die
spektrale Effizienz der Datenübertragung, d.h. die Ausnutzung

der zur Verfügung stehenden Übertragungsbandbreite des Lichtwellenleiters, weiter zu verbessern.

5 Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zum Übertragen von Daten über Lichtwellenleiter gemäß dem beigefügten Anspruch 1 gelöst. Weiterhin wird diese Aufgabe durch jeweils eine optische Sende- und Empfangsvorrichtung und durch jeweils einen optischen Multi- und Demultiplexer gemäß den beigefügten Ansprüchen 5, 8, 9 und 12 gelöst.

10

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird zur Übertragung von Daten über Lichtwellenleiter ein Verfahren angewendet, das aus einer Kombination von Zeitmultiplexverfahren (TDMA) und Codemultiplexverfahren (CDMA) besteht und mit einer bestimmten
15 Wellenlänge des Lichts über einen Lichtwellenleiter übertragen wird.

Die vorliegende Erfindung stellt eine optische Sendevorrichtung zum Versenden von Daten über Lichtwellenleiter bereit,
20 die Daten im Zeit- und Codemultiplexverfahren über einen Lichtwellenleiter versendet. Dabei werden die Daten aus einer Anzahl von Kanälen zur Datenübertragung mittels des Codemultiplexverfahrens durch Verknüpfung mit jeweils einem Code für einen Kanal in Codefunktionen umgewandelt. Jeweils mehrere
25 dieser Codefunktionen werden mittels des Zeitmultiplexverfahrens in einen Zeitschlitz eingefügt, wobei mehrere Zeitschlitze einen Rahmen mit einer bestimmten Dauer ergeben. Diese Rahmen werden nun von einem optischen Sender (z.B. Laserdiode) mit einer bestimmten Wellenlänge über einen Lichtwellenleiter übertragen. Auf diese Weise werden in jedem
30 Zeitschlitz die Daten von mehreren Kanälen in Form von Codefunktionen übertragen.

Weiterhin stellt die vorliegende Erfindung einen optischen
35 Multiplexer zur Datenübertragung über Lichtwellenleiter bereit. Dieser optische Multiplexer besteht aus mehreren der beschriebenen optischen Sendevorrichtungen, wobei sich die

optischen Sender jeweils in der Wellenlänge, in der sie das Licht abstrahlen, unterscheiden. So können mehrere Rahmen gleichzeitig über einen Lichtwellenleiter im Frequenz- (bzw. Wellenlängen-) Multiplexverfahren übertragen werden. Die Einspeisung mehrerer modulierter Träger in einen gemeinsamen Lichtwellenleiter erfolgt dabei durch einen optischen Wellenlängenmultiplexer.

Durch die Kombination von Frequenz-, Zeit- und Codemultiplexverfahren ergibt sich somit ein dreidimensionales Mediumzugriffsverfahren zur Datenübertragung über eine Glasfaser.

Der Empfang der Daten erfolgt genau in der umgekehrten Reihenfolge durch eine optische Empfangsvorrichtung bzw. einen optischen Demultiplexer mit den entsprechenden Vorrichtungen.

Der Vorteil der erfindungsgemäßen Kombination der verschiedenen Multiplexverfahren besteht darin, dass mit den verfügbaren technischen Komponenten eine wesentlich bessere spektrale Effizienz der Glasfaser als beim Stand der Technik erzielt werden kann, d.h. dass die Ausnutzung der theoretischen Übertragungsbandbreite von 50 THz auf Glasfasern zur Datenübertragung besser ausgenutzt werden kann.

Weiterhin ist die vorliegende Erfindung relativ leicht in bestehende Systeme implementierbar, da die Sende- bzw. Empfangsvorrichtungen gegenüber dem Stand der Technik lediglich um die Codemultiplex- bzw. Codedemultiplexvorrichtungen erweitert werden müssen. An den optischen Bauelementen (z.B. Lasersender, Photodioden, Lichtwellenleiter) ändert sich nichts.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung sind in den jeweiligen Unteransprüchen wiedergegeben.

Die Anzahl der Codefunktionen, die pro Zeitschlitz übertragen werden, hängt von der Anzahl der Kanäle zur Datenübertragung

und der Anzahl der Zeitschlitz pro Rahmen ab. So ergibt sich bei einer Anzahl von $m * n$ Kanälen zur Datenübertragung bei gleicher Verteilung der Codefunktionen eine Anzahl von m Codefunktionen pro Zeitschlitz.

5

Werden jedoch von den Kanälen unterschiedliche Anforderungen, beispielsweise bezüglich der Datenübertragungsrate, gestellt, so können die einzelnen Zeitschlitz jeweils auch eine unterschiedliche Anzahl von Codefunktionen übertragen. Die Summe
10 der Codefunktionen, die pro Rahmen übertragen werden, muß dann insgesamt $m * n$ ergeben, um die Daten aller Kanäle übertragen zu können.

Wird das erfindungsgemäße Datenübertragungsverfahren über k
15 Wellenlängen angewendet, so ergibt sich, bei einer gleichmäßigen Verteilung der Codefunktionen auf die Zeitschlitz, eine Gesamtzahl von $k * m * n$ Kanälen, deren Daten über eine Glasfaser übertragen werden können, was gegenüber dem Stand der Technik eine Erhöhung um einen Faktor m bedeutet.

20

Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispieles unter Bezug auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert, in denen zeigen:

25 Fig. 1 das Frequenzspektrum einer Datenübertragung im Frequenzmultiplexverfahren,

Fig. 2 das Frequenzspektrum einer Datenübertragung im Zeit- bzw. Codemultiplexverfahren,

30

Fig. 3 das Frequenzspektrum bei der erfindungsgemäßen Kombination von Frequenz-, Zeit- und Codemultiplexverfahren, und

35 Fig. 4 eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen optischen Datenübertragungssystems.

Wie in Fig. 1 zu sehen ist, belegt beim Frequenzmultiplex jedes Signal, d.h. jeder Träger $f_1 \dots f_k$, ein schmales Frequenzband in dem Frequenzraum, der insgesamt zur Datenübertragung zur Verfügung steht (Übertragungsbandbreite Δf).

- 5 Die jeweiligen Spektren (Gauss'sche Signale), die durch die Modulation der jeweiligen Träger $f_1 \dots f_k$ mit den zu übertragenden Daten entstehen und durch eine Fourier-Transformation der Zeitfunktion erhalten werden können, sind in diesem Frequenzraum überlappungsfrei angeordnet, und haben je-
- 10 weils eine Übertragungsbandbreite von $\Delta f_1 \dots \Delta f_k$. Die Anzahl der Träger $f_1 \dots f_k$, die mittels des Frequenzmultiplexverfahrens übertragen werden können, ist durch die Übertragungsbandbreite Δf des Lichtwellenleiters (theoretisch bis zu 50 THz) sowie durch die Anzahl Gauss'scher Signale,
- 15 die mit optischen Sendern (Laserdioden) in diesem Frequenzraum erzeugt werden können, gegeben. Der Empfänger verfügt über optische Empfänger (Photodioden), die jeweils die entsprechende Frequenz filtern können bzw. über einen optischen Demultiplexer, der die einzelnen Frequenzen $f_1 \dots f_k$ ent-
- 20 sprechenden Empfängerkreisen zuordnet, um so die gesendeten Daten wiederzugewinnen.

- Wie aus Fig. 1 ersichtlich ist, ist es durchaus denkbar, durch die Verwendung von zahlreichen schmalbandigen Signalen,
- 25 die durch die Träger $f_1 \dots f_k$ übertragen und durch Laserdioden erzeugt werden können, die spektrale Ausnutzung bis zur maximalen Übertragungsbandbreite Δf zu maximieren. Jedoch ist die technische Realisierung zur Ausnutzung der maximalen Übertragungsbandbreite Δf äußerst schwierig, da sehr
- 30 feinstufig durchstimbare optische Sender benötigt werden. Aus diesem Grund konnte die 50 THz Übertragungsbandbreite von Lichtwellenleitern bisher nicht vollständig ausgenutzt werden.

- 35 Fig. 2 zeigt die Darstellung des Spektrums einer Datenübertragung im Zeit- bzw. Codemultiplexverfahren.

Beim Zeitmultiplexverfahren wird mit einem Träger einer einzigen Frequenz f_1 gearbeitet, in der die Daten der einzelnen Übertragungskanäle in überlappungsfreien Zeitschlitzten $t_1 \dots t_n$ nacheinander übertragen werden. Diese Zeitschlitzte $t_1 \dots t_n$ sind in einem sogenannten Rahmen angeordnet, dessen Zeitdauer sich aus der Anzahl der Zeitschlitzte und der jeweiligen Dauer der einzelnen Zeitschlitzte ergibt. Nach Übertragung der Zeitschlitzte $t_1 \dots t_n$ beginnt die Übertragung der Zeitschlitzte $t_1 \dots t_n$ erneut.

10

Hier findet eine Spektrumsverbreiterung des Trägers f_1 statt, die durch eine Fourier-Transformation von zeitbegrenzten Signalen, d.h. der zu übertragenden Daten, ermittelt werden kann. Das bedeutet konkret, dass, genau wie beim Frequenzmultiplexverfahren, eine Erhöhung der Datenrate der zu übertragenden Daten bzw. der Bandbreite eines zu übertragenden Signales, eine Verbreiterung des Spektrums zur Folge hat.

15

Mit dem Zeitmultiplexverfahren ist es ebenfalls theoretisch denkbar, die komplette Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Bandbreite Δf zu erreichen. Zur Erhöhung der Übertragungsbandbreite muss jedoch die Dauer der Zeitschlitzte reduziert werden, da zur Daten- bzw. Sprachübertragung eine bestimmte Rahmendauer nicht überschritten werden darf, um die Daten bzw. Sprache noch fehler- bzw. verzerrungsfrei zu übertragen. Diese Anforderung zieht eine hohe Anforderung der signalverarbeitenden und -auswertenden Komponenten nach sich. Aus diesem Grund ist bisher die komplette Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Übertragungsbandbreite nur unter Verwendung des Zeitmultiplexverfahrens zur Datenübertragung über Lichtwellenleiter nicht möglich.

25

30

Ein weiteres Multiplexverfahren ist das sogenannte Codemultiplexverfahren (CDMA, Code Division Multiple Access). Bei diesem Multiplexverfahren handelt es sich um ein Übertragungsverfahren, bei dem mehrere Kanäle zur gleichen Zeit mit der gleichen Trägerfrequenz übertragen werden.

35

Bei diesem Multiplexverfahren werden die in den einzelnen Übertragungskanälen enthaltenen (digitalen) Daten jeweils mit einem anderen digitalen Code, der eine wesentlich höhere
5 Taktrate als die zu übertragenden Daten hat, verknüpft. Die verwendeten Codes müssen dabei möglichst orthogonal zueinander sein, d.h., dass sich die Codes im mathematischen Sinne möglichst stark voneinander unterscheiden, so dass die Korrelation (= Zusammenhang) zwischen den verwendeten Codes mög-
10 lichst gering (nahe 0) ist. Der Empfänger ist durch die Kenntnis des jeweiligen Codes für den entsprechenden Kanal zur Datenübertragung in der Lage, die Daten des entsprechenden Kanales zu decodieren und so die entsprechende Information zu erhalten.

15 Wie aus Fig. 2 zu sehen ist, ist es mittels des Codemultiplexverfahrens theoretisch ebenso möglich, allein durch dieses Verfahren die gesamte zur Verfügung stehende Übertragungsbandbreite auszunutzen, indem die Daten nur mit einer
20 Sendefrequenz (Träger) übertragen werden. Über diese Sendefrequenz wird eine Anzahl von Codefunktionen $C_1 \dots C_m$ übertragen, so dass eine Verbreiterung des Frequenzspektrums stattfindet. Mit jeder Codefunktion $C_1 \dots C_m$ werden die Daten eines Übertragungskanales übertragen. Jedoch ist in diesem
25 Fall die technische Realisierung von so vielen orthogonalen Codes, die zur Ausnutzung der gesamten Übertragungsbandbreite Δf notwendig wären, äußerst schwierig.

Beim Stand der Technik werden zur Erhöhung der spektralen Effizienz im Lichtwellenleiter das Zeit- und das Frequenz-
30 (bzw. Wellenlängen-) Multiplexverfahren zu einem zweidimensionalen Zugriffsverfahren kombiniert. Die Kombination dieser beiden Zugriffsverfahren ist auch aus der Funktechnik bekannt. Mit dieser Methode werden auf verschiedenen Träger-
35 frequenzen f_1 und f_2 (bzw. mit verschiedenen Wellenlängen, s. auch Fig. 3a) mehrere abgetastete Übertragungskanäle nach dem Zeitmultiplexverfahren (TDMA) gesendet; das Zeitmultiplex-

verfahren wird somit auf jeder Trägerfrequenz angewendet (Fig. 3b).

Bei k Trägerfrequenzen $f_1 \dots f_k$ und n Zeitschlitten $t_1 \dots t_n$ pro Trägerfrequenz können insgesamt die Daten von $k * n$ Übertragungskanälen übertragen werden.

Durch diese Kombination von Zeit- und Frequenzmultiplexverfahren wird eine Verbreiterung des Frequenzspektrums gegenüber der Verwendung von nur einem Multiplexverfahren erzielt (Fig. 3b); somit wird die spektrale Effizienz erhöht und die nutzbare Übertragungsbandbreite nähert sich der theoretisch verfügbaren Übertragungsbandbreite von 50 THz.

Diese Kombination hat sich bewährt, weil dadurch die technischen Anforderungen an die jeweiligen Komponenten für das Zeit- und Frequenzmultiplexverfahren kleiner sind als bei der Anwendung von nur einem Multiplexverfahren bei gleicher genutzter Übertragungsbandbreite. Umgekehrt heißt das, dass bei der kombinierten Nutzung der derzeit verfügbaren Komponenten für das Zeit- und Frequenzmultiplexverfahren die Summe der Vorteile genutzt und somit eine höhere spektrale Effizienz (höhere Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Übertragungsbandbreite) erzielt werden kann. Die gleichen Aussagen gelten natürlich auch für die anderen möglichen Zweierkombinationen von Zeit- und Codemultiplexverfahren und Frequenz- und Codemultiplexverfahren.

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird das bekannte zweidimensionale Zugriffsverfahren, d.h. die Kombination von Zeit- und Frequenzmultiplexverfahren, zu einem dreidimensionalen Zugriffsverfahren erweitert. Das bedeutet, daß zusätzlich zum Zeit- und Frequenzmultiplexverfahren das Codemultiplexverfahren zur Datenübertragung in Lichtwellenleitern angewendet wird.

Dabei werden auf jeder Trägerfrequenz $f_1 \dots f_k$ in jedem Zeitschlitz $t_1 \dots t_n$ die Daten von mehreren Übertragungskanälen übertragen. Die Daten der Übertragungskanäle, die in jeweils einem Zeitschlitz übertragen werden, werden wiederum
5 jeweils mit einem eigenen Code zu jeweils einer Codefunktion $C_1 \dots C_m$ gemäß dem Codemultiplexverfahren verknüpft. Das resultierende Frequenzspektrum ist in Fig. 3c dargestellt.

Die verwendeten Codes basieren beispielsweise auf sogenannten
10 Walsh-Funktionen, die periodisch sind, die Werte +1 und -1 annehmen und ein Orthonormalsystem bilden. Mit Hilfe der Walsh-Funktionen sowie pseudozufälligen Funktionen können Codes erzeugt werden, die zueinander orthogonal sind und somit eindeutig durch Bildung der Korrelation ermittelt werden können.
15

Somit können gemäß der vorliegenden Erfindung bei k Sendefrequenzen (bzw. k Wellenlängen des Lichts) mit jeweils n Zeitschlitz pro Sendefrequenz und m Codefunktionen pro
20 Zeitschlitz insgesamt $k * n * m$ Kanäle (Signale) übertragen werden (vgl. Fig. 3c).

Die erfindungsgemäße Anwendung eines dreidimensionalen Mediumzugriffsverfahrens (FDMA-TDMA-CDMA) zur Datenübertragung
25 über Lichtwellenleiter, führt zu einer weiteren Verbreiterung des Frequenzspektrums, das zur Datenübertragung ausgenutzt wird, wie in Fig. 3c zu sehen ist. Die spektrale Effizienz wird somit im Vergleich zum Stand der Technik weiter gesteigert.

30 Durch die Kombination der technisch verfügbaren Bauteile für die jeweiligen Multiplexverfahren kann, analog zum beschriebenen zweidimensionalen Zugriffsverfahren, die Summe der Vorteile der einzelnen Multiplexverfahren genutzt werden.

Fig. 4 zeigt schematisch ein Beispiel für ein optisches Datenübertragungssystem, in dem die Datenübertragung mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt.

- 5 Der Einfachheit halber verarbeitet in dem gezeigten Beispiel jede optische Sendevorrichtung, jeweils bestehend aus einer Codemultiplexvorrichtung $11_1 \dots 11_k$, einer Zeitmultiplex-
- 10 vorrichtung $12_1 \dots 12_k$ und einen optischen Sender $13_1 \dots 13_k$ (z.B. Laserdiode) die Daten aus einer Anzahl von $n * m$ Kanälen zur Datenübertragung; das gleiche gilt für jede optische Empfangsvorrichtung, jeweils bestehend aus einem optischen Empfänger $23_1 \dots 23_k$ (z.B. Photodiode), einer Zeitdemultiplexvorrichtung $22_1 \dots 22_k$ und einer Codemultiplexvorrichtung $21_1 \dots 21_k$.
- 15 Jeweils mehrere der optischen Sendevorrichtungen ergeben zusammen mit einem optischen Wellenlängenmultiplexer 14 den optischen Multiplexer 1. Das gleiche gilt für den optischen Demultiplexer 2, der aus mehreren optischen Empfangsvor-
- 20 richtungen und einem optischen Wellenlängendemultiplexer 24 besteht.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Übertragen von Daten über Lichtwellenleiter (LWL), wobei
 - 5 aus Daten, die in einer Vielzahl von Kanälen zur Datenübertragung übertragen werden, Codefunktionen mittels des Codemultiplexverfahrens erzeugt werden, Zeitschlitze $t_1 \dots t_n$ mittels des Zeitmultiplexverfahrens erzeugt und die erzeugten Codefunktionen in die Zeitschlitze
 - 10 eingefügt werden, wobei n Zeitschlitze jeweils einen Rahmen bilden, und die Rahmen mit einer bestimmten Wellenlänge über einen Lichtwellenleiter (LWL) übertragen werden.
- 15 2. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der Kanäle $n \cdot m$ beträgt.
- 20 3. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass in jedem Zeitschlitz $t_1 \dots t_n$ jeweils m Codefunktionen $C_1 \dots C_m$ übertragen werden.
- 25 4. Verfahren gemäß Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Rahmen gleichzeitig mit k verschiedenen Wellenlängen über einen gemeinsamen Lichtwellenleiter (LWL) im Wellenlängenmultiplexverfahren übertragen werden.
- 30 5. Optische Sendevorrichtung zum Versenden von Daten über Lichtwellenleiter (LWL), mit einer Codemultiplexeinrichtung (11₁), die aus Daten, die über eine Vielzahl von Kanälen zur Datenübertragung übertragen werden, Codefunktionen mittels des Codemultiplexverfahrens
- 35 erzeugt, einer Zeitmultiplexeinrichtung (12₁), die Zeitschlitze mittels des Zeitmultiplexverfahrens erzeugt und die erzeugten

14

Codefunktionen in die Zeitschlitze einfügt, wobei n Zeitschlitze $t_1 \dots t_n$ einen Rahmen bilden, und einem optischen Sender (13_1), der die Rahmen mit einer bestimmten Wellenlänge über einen Lichtwellenleiter (LWL) versendet.

6. Optische Sendevorrichtung gemäß Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der Kanäle $n \cdot m$ beträgt.

7. Optische Sendevorrichtung gemäß Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Zeitmultiplexeinrichtung (12_1) in jeden Zeitschlitz $t_1 \dots t_n$ jeweils m Codefunktionen $C_1 \dots C_m$ einfügt.

8. Optischer Multiplexer (1) zum Versenden von Daten über Lichtwellenleiter (LWL), gekennzeichnet durch eine Anzahl k optischer Sendevorrichtungen gemäß Anspruch 5, 6 oder 7, wobei sich die optischen Sender ($13_1 \dots 13_k$) jeweils in der Wellenlänge, mit der sie die Rahmen versenden, unterscheiden, und einen optischen Wellenlängenmultiplexer (14) zum Zusammenfügen und gleichzeitigen Versenden der Rahmen der k optischen Sender ($13_1 \dots 13_k$) über einen gemeinsamen Lichtwellenleiter (LWL), so dass die jeweiligen Rahmen im Wellenlängenmultiplexverfahren über den Lichtwellenleiter (LWL) übertragen werden.

9. Optische Empfangsvorrichtung zum Empfangen von Daten über Lichtwellenleiter (LWL), mit einem optischen Empfänger (23_1), der Rahmen, die mit einer bestimmten Wellenlänge über einen Lichtwellenleiter (LWL) im Zeitmultiplexverfahren übertragen werden, empfängt, wobei ein Rahmen aus n Zeitschlitzen $t_1 \dots t_n$ besteht, jeder Zeitschlitz Codefunktionen im Codemultiplexverfahren und jede Co-

defunktion die Daten eines Kanales zur Datenübertragung enthält,

einer Zeitdemultiplexeinrichtung (22_1), die aus jedem Zeitschlitz $t_1 \dots t_n$ die darin enthaltenen Codefunktionen aus-

5 liest, und

einer Codedemultiplexeinrichtung (21_1), die aus den ausgelesenen Codefunktionen die Daten in den ursprünglichen Kanälen zur Datenübertragung wieder herstellt.

10 10. Optische Empfangsvorrichtung gemäß Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der Kanäle $n \cdot m$ beträgt.

11. Optische Empfangsvorrichtung gemäß Anspruch 9 oder 10,
15 dadurch gekennzeichnet, dass die Zeitdemultiplexeinrichtung (22_1) aus jedem Zeitschlitz $t_1 \dots t_n$ jeweils m Codefunktionen $C_1 \dots C_m$ ausliest.

12. Optischer Demultiplexer (2) zum Empfangen von Daten über
20 Lichtwellenleiter (LWL), gekennzeichnet durch einen optischen Wellenlängendemultiplexer (24) zum gleichzeitigen Empfangen von Rahmen, die über einen gemeinsamen Lichtwellenleiter (LWL) im Wellenlängenmultiplexverfahren übertragen werden, und zum Aufteilen der Rahmen auf optische Empfangsvorrichtungen, und
25 eine Anzahl k optischer Empfangsvorrichtungen gemäß Anspruch 9, 10 oder 11, wobei sich die optischen Empfänger ($23_1 \dots 23_k$) jeweils in der Wellenlänge, mit der sie die Rahmen empfangen,
30 unterscheiden.

1/3

FIG 1

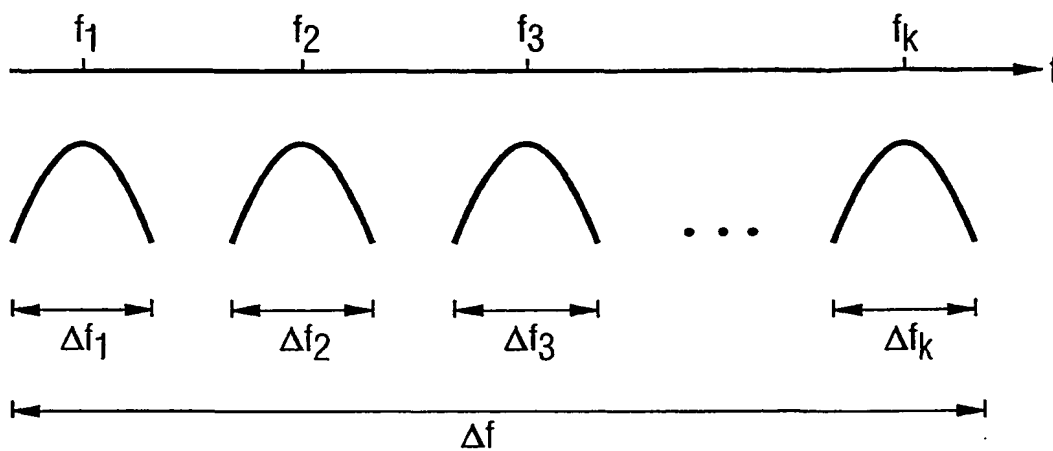
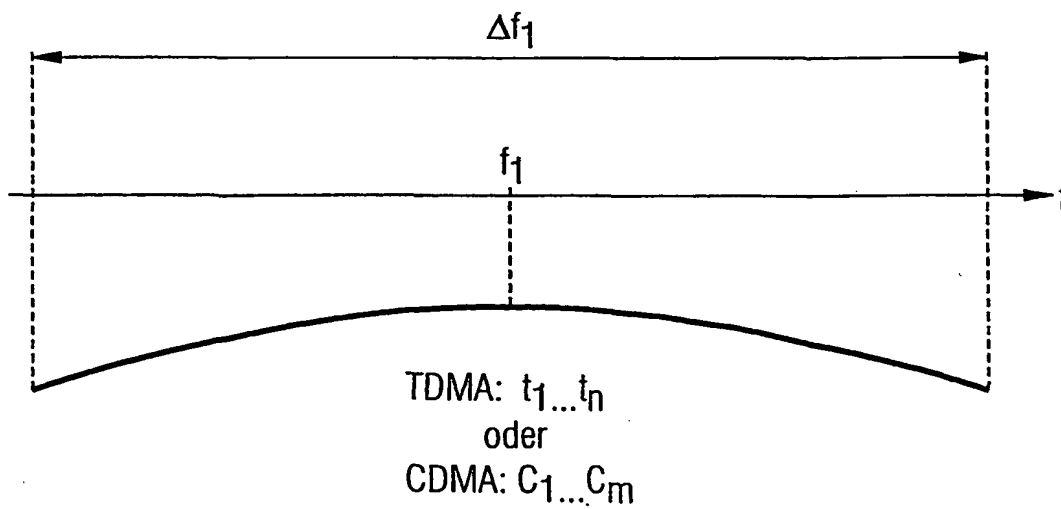


FIG 2



2/3

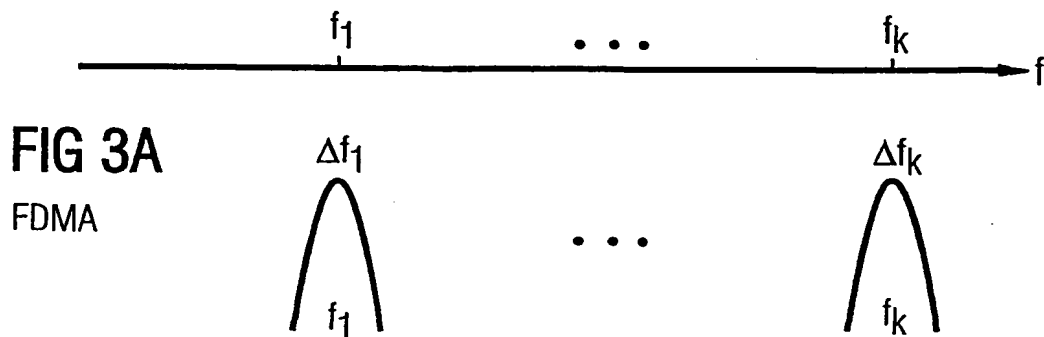


FIG 3B

FDMA+
TDMA

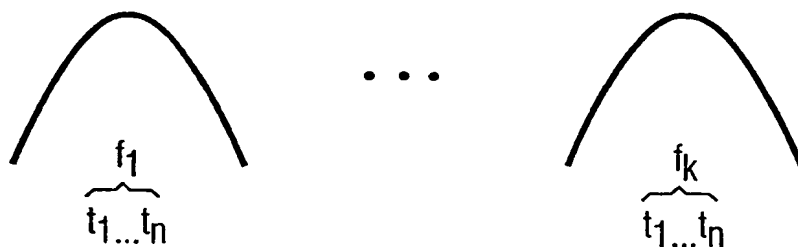
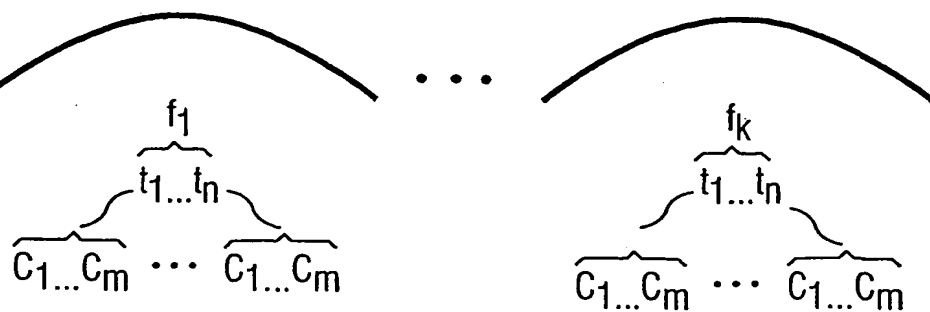


FIG 3C

FDMA+
TDMA+
CDMA



3/3

FIG 4

